

## 12.Повышение ресурса соединений деталей машин.

Решение данной задачи рассмотрим для соединения отверстия с валом, выполненного с зазором. Примером такого соединения может быть, например, сопряжение цилиндра с поршнем в гидравлической стойке (стойке), которая используется в механизированной крепи для поддержания кровли в шахтах. Это соединение, как правило, выполняется с точностью по посадке H9/f9, а сборка производится методом полной взаимозаменяемости.

Закономерности изнашивания поверхностей обычно описываются кривыми износа, которые имеют три участка: приработки, установившегося и интенсивного износа. Увеличение ресурса соединения может быть достигнуто несколькими путями. Во-первых, можно повысить точность обработки сопрягаемых поверхностей и тем самым уменьшить величину допуска на зазор в соединении. Повышением качества сборки можно обеспечить в соединениях наименьшие зазоры, а за счет повышения износостойкости сопрягаемых поверхностей снизить интенсивность их изнашивания. Оптимизация конструктивных решений с целью снижения действующих на соединение нагрузок и применение более прочных материалов увеличивают значение предельного зазора  $S_{np}$  и тем самым ресурс соединения. В данной работе рассматривается задача повышения ресурса соединений сборкой за счет получения в соединениях зазоров, близких по величине к минимально допустимому значению.

Время приработки поверхностей существенно меньше общего ресурса соединения и в ряде случаев им можно пренебречь. Без учета приработки кривые изнашивания можно свести к схеме рис. 1. Очевидно, что соединение, собранное с минимально допустимым по технической документации зазором  $S_{min}$  будет иметь наибольший ресурс  $T_{max}$  по отношению к соединениям с большими зазорами. Если задан предельный зазор ( $S_{np}$ ), при котором интенсивность износа резко увеличивается, то величину ресурса соединения ( $T$ ), собранного с зазором  $S > S_{min}$ , можно определить из условия подобия треугольников:

$$\frac{T}{T_{max}} = \frac{S_{np} - S}{S_{np} - S_{min}} < 1 \quad (1)$$

Отметим, что левая часть данного уравнения представляет собой долю ресурса соединения с зазором  $S$  от максимального возможного ресурса, который обеспечивается при зазоре в соединении равном  $S_{min}$ .

В табл.1 приведены параметры точности сопрягаемых поверхностей в соединениях поршня с цилиндром в соответствии с наиболее распространенной на рабочих чертежах стоек посадкой вида Н9/ф9 и действующей системой допусков и посадок. Из данной таблицы следует, что зазоры в соединениях различных стоек из партии могут различаться более чем в шесть раз. При этом каждая из этих стоек будет соответствовать требованиям технической документации. Следовательно, при такой точности и сборке соединений методом полной взаимозаменяемости невозможно обеспечить их равноресурсность. Одни стойки будут иметь сравнительно высокий ресурс, а другие низкий. Это оказывает существенное влияние на надежность и эффективность эксплуатации механизированной крепи в целом.

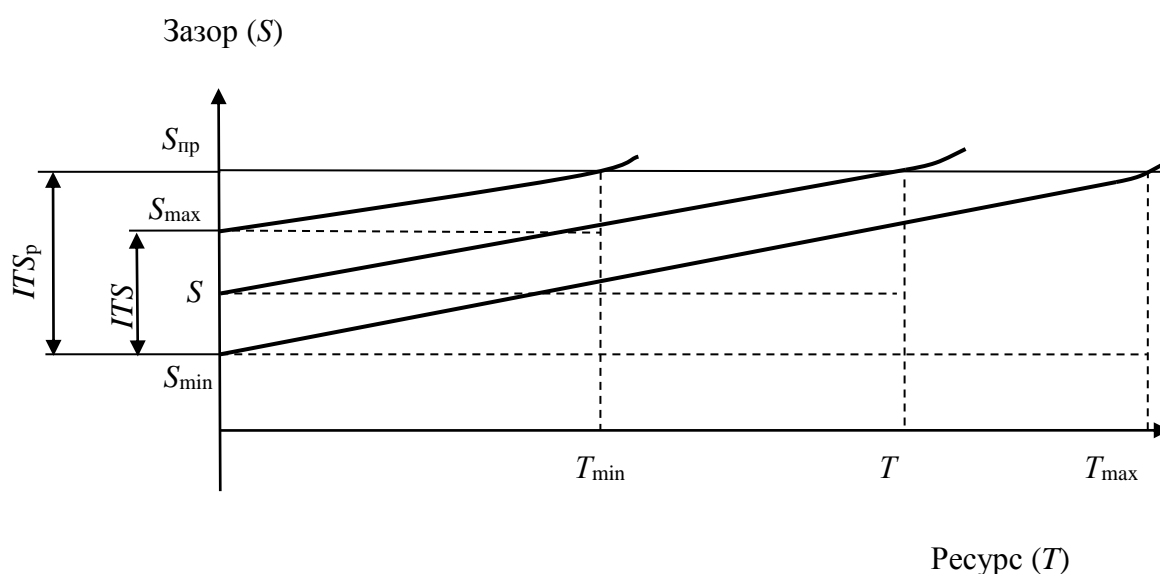


Рис.1. Кривые изнашивания соединения без учета приработки.

Таблица 1

*Параметры точности поверхностей и соединений*

Внутренний диаметр цилиндра, мм	Предельные отклонения размера цилиндра, мкм		Предельные отклонения размера поршня, мкм		Зазор в соединении при посадке Н9/ф9, мкм		
	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	минимальный, $S_{min}$	максимальный, $S_{max}$	$S_{max}/S_{min}$
Св.80 до 120 вкл.	0	87	-36	-123	36	210	5,8
Св.120 до 180 вкл.	0	100	-43	-165	43	243	5,7
Св.180 до 250 вкл.	0	115	-50	-143	50	280	6,4

Определение величины предельного зазора в соединении ( $S_{np}$ ) представляет собой сложную инженерную задачу. Для стойки предельный зазор находится по результатам математического моделирования ее напряженного состояния на ЭВМ с использованием метода конечных элементов. Зазор в соединении, при котором возникает пластическая деформация сопрягаемых поверхностей, соответствует  $S_{np}$  и определяется по соответствующим зависимостям.

Для решения ряда практических задач необходимо знать зависимость ресурса соединения от его уровня качества. Вопросами оценки качества соединений продолжительное время занимаются на кафедре ТМР МГГУ. Суть полученных результатов сводится к следующему. Одним из основных показателей качества соединений деталей является зазор, который определяет особенности контакта деталей по сопрягаемым поверхностям. От величины зазора, полученного при сборке соединения, в конечном счете, зависит его ресурс. Если значение зазора выходит за предельно допустимую величину, то такое соединение бракуется, если не выходит – считается годным. Это решение принимается на стадии технического контроля фактических размеров деталей. В процессе эксплуатации зазоры в соединениях увеличиваются до предельной величины, которая определяется их эксплуатационным ресурсом. Очевидно, что соединения, изготовленные с меньшими зазорами, будут иметь больший эксплуатационный ресурс. Это соображение было положено в основу методических материалов по оценке качества соединений деталей при изготовлении [1]. Уровень качества соединения определяется по формуле:

$$K = 1 - \left( \frac{S - S_{\min}}{ITS + \Delta} \right)^2 = 1 - \frac{(S - S_{\min})^2}{(1.05 \cdot ITS)^2}, \text{ где} \quad (2)$$

$ITS$  – допуск на зазор;  $S$  – зазор в соединении, полученный при сборке. Величина погрешности измерения ( $\Delta$ ) определяется в соответствии с рекомендациями ISO – 5725 и принимается равной  $\Delta=0.05ITS$ .

Для установления взаимосвязи ресурса с уровнем качества соединения приведем уравнение (2) к виду:

$$S = 1.05 \cdot ITS \cdot \sqrt{1 - K} + S_{\min}$$

Подставляя это выражение в формулу (1), получим:

$$\frac{T}{T_{\max}} = \frac{S_{np} - 1.05 \cdot ITS \cdot \sqrt{1 - K} - S_{\min}}{S_{np} - S_{\min}} \quad \text{или}$$

$$\frac{T}{T_{\max}} = 1 - \frac{1.05 * ITS * \sqrt{1-K}}{S_{np} - S_{\min}} = 1 - \frac{1.05 * ITS * \sqrt{1-K}}{ITS_p} = 1 - \frac{1.05 * \sqrt{1-K}}{K_p},$$

где  $K_p = ITS_p / ITS > 1$  - коэффициент запаса ресурса соединения по точности;  $ITS$  – допуск на зазор при сборке соединения (при изготовлении стойки);  $ITS_p = S_{np} - S_{\min}$  - эксплуатационный допуск на зазор в соединении.

Зависимость ресурса от уровня качества при различных значениях коэффициента  $K_p$ , а также распределение соединений по ресурсу при точности сопрягаемых поверхностей по 9 качеству и сборке методом полной взаимозаменяемости, представлены на рис. 2. Из зависимости следует, что ресурсы различных соединений могут различаться почти в три раза. Данная зависимость универсальна. При любых значениях  $K_p$  ресурс соединения стремится к максимальной величине, если уровень качества близок к единице. Этого можно достичь, обеспечивая при изготовлении и сборке зазоры в соединениях близкие по величине к минимально допустимому значению.

Из зависимости рис. 2 следует, что ресурс, составляющий 85-100% от максимально возможной величины, достигается при уровне качества соединений  $K=0.9-1.0$ . При таких значениях уровня качества точность в соединениях должна соответствовать седьмому качеству. Однако, в этом случае, трудоемкость обработки сопрягаемых поверхностей существенно увеличивается. Кроме того, не все отечественные заводы горного машиностроения располагают производственными мощностями, технологиями и кадрами, способными стабильно обеспечить такую точность на всей длине гидроцилиндра (1000-1500мм). В этом случае необходима селективная сборка соединений с точностью по седьмому качеству при точности изготовления сопрягаемых поверхностей по 9-10.

Моделирование на ЭВМ метода групповой взаимозаменяемости выявило невозможность его использования для повышения ресурса соединений стоек. При мелкосерийном типе производства весьма велика доля непарных деталей, образующихся в процессе сборки. Объем незавершенного производства в этом случае может достигать 40-50% от программы производства (рис. 3). Основные причины образования и накопления такого количества непарных деталей – существенная зависимость результатов сборки от законов распределения размеров деталей, их количественных параметров и мелкосерийность производства.

Поэтому для повышения ресурса стойки в условиях мелкосерийного производства был разработан специальный метод обеспечения заданной точности в соединениях – метод межгрупповой взаимозаменяемости. Отличительной особенностью данного метода

является возможность комплектации определенной размерной группы цилиндров поршнями из нескольких групп. Это делает сборку соединений независимой или мало зависимой от типов законов распределения размеров, их сочетаний и количественных параметров, а также от серийности производства (рис. 4). Для реализации и оценки эффективности метода разработано программное обеспечение, позволяющее моделировать на ЭВМ все основные виды сборки.

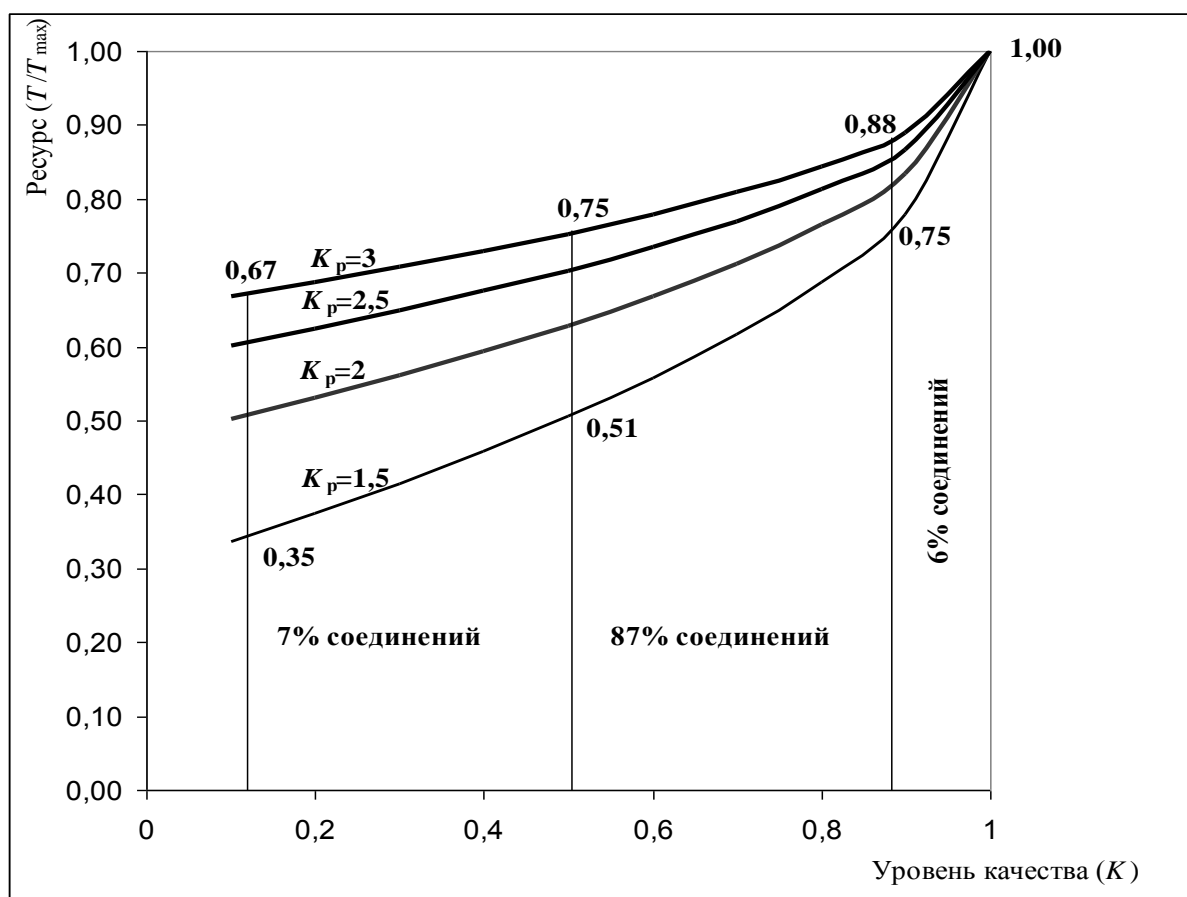
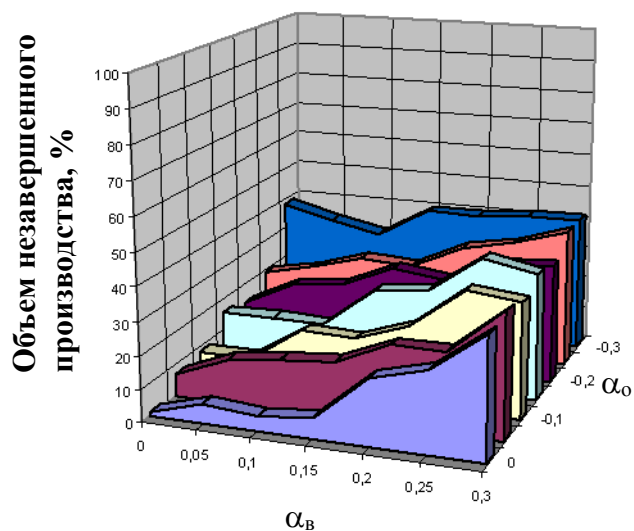


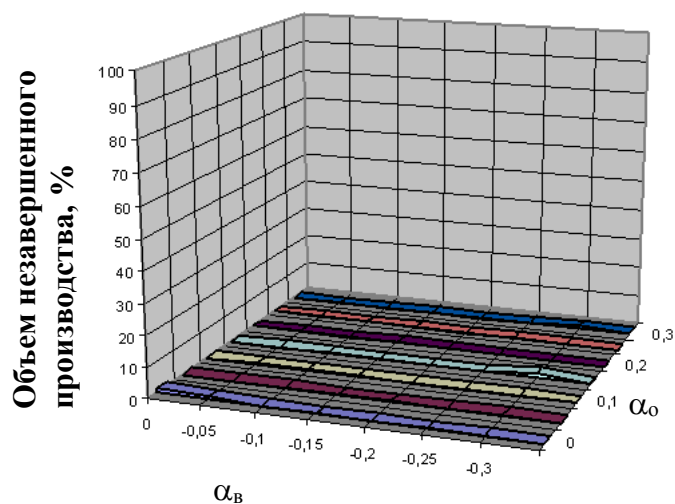
Рис. 2. Зависимость ресурса соединений от уровня качества при различных значениях  $K_p$ .  
 Девятый квалитет точности сопрягаемых поверхностей. Сборка – методом полной взаимозаменяемости.

Моделирование на ЭВМ метода межгрупповой взаимозаменяемости позволило установить параметры соединений и сборки для стоек с номинальным внутренним диаметром цилиндра  $\varnothing 180-250\text{мм}$ , обеспечивающие ресурс, составляющий 85-95 % от максимально возможного, при вероятности возникновения незавершенного производства близкой к нулю (табл. 2). При других номинальных диаметрах эти результаты мало отличаются от данных табл.2.



Параметр	Значение
Допуск, $IT_A=IT_B$ , мкм	150
Максимальный зазор, $S_{max}$ , мкм	150
Минимальный зазор, $S_{min}$ , мкм	50
Групповые допуски, $a=b=ITS/2$ , мкм	50
Количество групп, $n_1=n_2$	3
Нижнее предельное отклонения размера вала (поршня), $eib$ , мкм	-100
Закон распределения размеров вала (поршня)	нормальный
Закон распределения размеров отверстия (цилиндра)	нормальный
Объем производства, шт.	200

Рис. 3 Объем незавершенного производства (в процентах от общего количества соединений) при сборке методом групповой взаимозаменяемости ( $a=b=ITS/2$ ).  $\alpha_b$  – коэффициент асимметрии для закона распределения размеров вала (поршня);  $\alpha_o$  – то же для отверстия (цилиндра).



Параметр	Значение
Допуск, $IT_A=IT_B$ , мкм	120
Максимальный зазор, $S_{max}$ , мкм	150
Минимальный зазор, $S_{min}$ , мкм	50
Групповые допуски, $a=b=ITS/5$ , мкм	20
Количество групп, $n_1=n_2$	6
Нижнее предельное отклонения размера вала (поршня), $eib$ , мкм	-110
Закон распределения размеров вала (поршня)	равномерный
Закон распределения размеров отверстия (цилиндра)	нормальный
Объем производства, шт.	200

Рис. 4. Объем незавершенного производства при сборке методом межгрупповой взаимозаменяемости. Разнотипные законы распределения размеров цилиндра и поршня, ( $a=b=ITS/5$ ).

Таблица 2

Параметры соединений и сборки, обеспечивающие повышение ресурса стоек.  
Точность сопрягаемых поверхностей - по 9 качеству, зазоры в соединениях – по 7.

№ варианта	Параметры соединений и сборки				Уровень качества соединений.	Ресурс, в % от максимально возможного	Условия применения
	Допуск на размер, ITA=ITB, мкм	Нижнее предельное отклонение размера	Групповой допуск, a=b, мкм	Количество селективных групп, $n_1=n_2$			
1	140	-120	ITS/3 =35	4	0.964- 0.974	87-94	однотипные законы распределений
2	125	-125	ITS/4 =25	5	0.944- 0.967	83-94	размеров цилиндров и поршней, контроль параметров распределений, подналадка станков
3	120	-110	ITS/5 =20	6	0.956- 0.981	85-95	без ограничений

Из таблицы 2 следует, что все три варианта обеспечивают повышение ресурса соединений стойки практически до одной и той же величины. В третьем варианте непарные детали при сборке стойки не образуются. Объем незавершенного производства фактически равен нулю даже при разнотипных законах распределения размеров цилиндров и поршней (рис. 4). Объем незавершенного производства мало зависит или практически не зависит ни от законов распределения размеров и их количественных характеристик, ни от их сочетаний, ни от серийности производства.

Первый вариант сборки с групповыми допусками  $a=b=ITS/3$  наиболее привлекателен для производства, т.к. для его реализации требуется сортировка деталей

всего по четырем размерным группам, и трудоемкость этого процесса минимальна по сравнению с другими вариантами. Однако отсутствие непарных деталей при сборке наблюдается не для всех значений рассматриваемых параметров. Данному варианту, как и второму, присуща определенная зависимость объема незавершенного производства от законов распределения размеров, их сочетаний и количественных характеристик. Поэтому эти варианты сборки могут быть использованы при соблюдении определенных условий. Схемы сборки и порядок комплектации цилиндров поршнями представлены на рис. 5, а распределение соединений по ресурсу – на рис. 6.

Отметим, что на ЭВМ моделировались действительные размеры отверстий и валов и тем самым учитывались погрешности формы. В настоящее время разрабатывается более совершенная версия программного обеспечения, которая позволит моделировать погрешности формы и учитывать их влияние на качество сборки соединений.

#### **Выводы:**

1. Установлена зависимость ресурса от уровня качества соединений. Показано, что действующая технология изготовления и сборки не позволяет обеспечить однородность соединений по ресурсу. Ресурсы различных гидростоек из партии изделий могут различаться почти в три раза.

2. Для повышения ресурса гидростойки необходимо обеспечить точность в соединениях не ниже 7 качества, что требует существенных затрат и наличия производственных мощностей соответствующего технического уровня и квалифицированных рабочих кадров.

3. Предложено использовать для сборки оригинальный метод, позволяющий в условиях мелкосерийного производства обеспечить точность в соединениях по 7 качеству при точности изготовления сопрягаемых поверхностей по 9-10 и вероятности возникновения незавершенного производства близкой к нулю.

#### **Список литературы:**

1. Радкевич Я.М. Оценка качества изготовления деталей/Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – №1. – С. 26-29.